Journal of Agricultural Machinery
Vol. 9, No. 1, Spring - Summer 2019, p. 1-13

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۹، شماره ۱، نیمسال اول ۱۳۹۸، ص ۱۳-۱

طراحی، ساخت و ارزیابی یک واحد برداشت کلم پیچ

امین رضاحسینی[۱]- کاظم جعفری نعیمی[۲*]- حمید مرتضی‌پور[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۶/۲۷

چکیده

برداشت محصول کلم پیچ در ایران به‌طور معمول با دست انجام می‌شود. این روش برداشت، هزینه بالایی برای کشاورزان به‌همراه دارد. به‌طوری‌که، حتی در بعضی مواقع، کشت این محصول به‌دلیل هزینه بالای برداشت با نیروی کارگری، مقرون به صرفه نیست. تاکنون در ایران فعالیت‌های چندانی در خصوص مکانیزاسیون برداشت محصول کلم پیچ انجام نشده است. در این پژوهش، با توجه به خصوصیات فیزیکی و مکانیکی محصول، یک واحد از ماشین مناسب برای برداشت ردیفی کلم پیچ در مزارع کوچک ایران طراحی و ساخته شد. در دستگاه ارائه شده، ابتدا خاک اطراف ریشه کلم، به‌وسیله دو واحد ابزار ساق باریک، مجهز به تیغه جانبی (ابزار L شکل) سست می‌شود و سپس به‌وسیله نوار نقاله‌های دندانه‌دار، ریشه کلم از خاک خارج شده و محصول از سطح زمین برداشت می‌گردد. توان مورد نیاز برای حرکت تسمه‌های بیرون‌کشنده از محور توان‌دهی تراکتور (P.T.O) تأمین شد. به‌منظور ارزیابی دستگاه، تأثیر سه عامل سرعت پیشروی در سه سطح ۲، ۳/۵ و ۵ کیلومتر بر ساعت، زاویه استقرار دستگاه نسبت به افق در سه سطح ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه و فاصله بین بوته‌ها روی ردیف، در دو سطح ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متر، بر عملکرد برداشت بررسی گردید. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. بیشترین ظرفیت ماشین برداشت کلم و راندمان برداشت به‌ترتیب بیش از ۵۳۰۰ بوته بر ساعت و ۸۰ درصد بود که در سرعت پیشروی ۳/۵ کیلومتر بر ساعت با زاویه استقرار ۲۵ درجه به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: ابزار ساق باریک، تسمه‌های بیرون‌کشنده، سرعت پیشروی، کلم پیچ، ماشین برداشت

مقدمه

کلم‌ها از خانواده چلیپاییان (*Brassicaceae*) و همگی از جنس *Brassica* و بسیاری از آنها متعلق به گونه *Oleracea* هستند. امروزه در سبزی‌کاری انواع مختلفی از کلم‌ها کشت می‌شوند که قسمت‌های قابل استفاده آنها نسبت به گونه‌های مختلف، متفاوت می‌باشد (Bagheri and Roosta, 2014). کاشت و برداشت کلم به ۶۰۰ سال قبل از میلاد در یونان برمی‌گردد. از معروف‌ترین انواع آن می‌توان کلم برگ، گل کلم، کلم بروکسل، کلم پیچ، کلم قمری و کلم بروکلی را نام برد. سطح زیر کشت جهانی کلم در سال۲۰۱۴ بیش از ۲۴۷۰ هزار هکتار و تولید جهانی این محصول بیش از ۷۱۷۷۸ هزار تن بود. کشورهای چین، هند و روسیه عمده‌ترین تولیدکننده‌های کلم پیچ در دنیا هستند. در این سال، سطح زیر کشت و مقدار تولید محصول در ایران به‌ترتیب ۲۰۰۰ هکتار و بیش از ۵۱۴ هزار تن گزارش شد (FAO, 2014). کوتاه بودن زمان برداشت ضرورت توسعه صنعت برداشت این محصول را نشان می‌دهد. از این رو می‌توان گفت، با ماشینی‌شدن برداشت کلم، درآمد خالص کشاورزان افزایش می‌یابد (Srivastava *et al*., 1993). ازطرفی، برداشت با دست، بسیار زمان‌بر بوده و نیاز به نیروی کارگر زیادی دارد. ماشین‌های برداشت در مقایسه با روش‌های دستی می‌توانند زمان برداشت را تا یک هشتم کاهش دهند و این کاهش حتی در پاره‌ای از موارد به یک دوازدهم هم می‌رسد. طراحی و ساخت ماشین‌های برداشت متناسب با شرایط کشاورزی ایران، می‌تواند گامی موثر در راستای پیش‌برد مکانیزاسیون و حرکت به سمت خودکفایی کشور باشد (Tabesh, 1996). از جمله هدف‌های مهم در طراحی انواع ماشین‌های برداشت، کاهش نیاز به کارگر، کاهش هزینه‌های تولید، کاهش آلودگی به آفت و کاهش صدمات مکانیکی وارد بر محصول است که این صدمات علاوه بر کاهش عمر انبارداری محصول، ارزش اقتصادی آن را نیز پایین می‌آورد (Laryushin *et al*., 2009) و باعث کاهش کیفیت محصول می‌شود (Mozafari, 2000). سال ۱۹۷۴ در ایالات متحده دستگاهی شامل قاب، بیلچه، نوارنقاله، یک جفت هلیس و تیغه‌های

۱- دانشجوی کارشناسی‌ارشد بخش مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
۲- استادیار بخش مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
۳- استادیار بخش مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: Jafarinaeimi@uk.ac.ir)
DOI: 10.22067/jam.v9i1.62703

ریشه‌زنی برای برداشت کلم پیچ ساخته شد (Carl Hansen and Shelby, 1974). شرکت ژاپنی Brain در اواخر سال ۲۰۰۲ موفق به ساخت مدلی دیگر از ماشین‌های برداشت کلم شد. به‌منظور آزمون و ارزیابی کیفیت کار این دستگاه پس از برداشت، یک آزمایش میدانی برداشت کلم انجام گرفت. نتایج تحقیق نشان داد که ۱/۵ تا ۳ درصد کلم‌های برداشت شده به دلیل اینکه ریشه آنها بیش ازحد بالا قطع شده بود غیرقابل مصرف بودند. همچنین، بیش از ۲۰ درصد کلم‌ها به دلیل اینکه اندازه‌شان کمتر از مقدار متوسط بود به‌وسیله این ماشین برداشت نشدند (Amano *et al.*, 2002).

عملکرد تیغه، به‌عنوان بخشی که وظیفه سست کردن اطراف ریشه کلم در داخل خاک را بر عهده دارد، بر کیفیت کار دستگاه برداشت موثر است. گروهی از پژوهش‌گران، نیروی‌های وارد بر یک ابزار را در دو شرایط بدون تیغه جانبی و مجهز به تیغه جانبی، در آزمایش‌های میدانی اندازه‌گیری کردند و ابزار مجهز به تیغه جانبی با ابزار بدون تیغه جانبی در شرایط یکسان مورد بررسی قرار دادند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که ابزار مجهز به تیغه جانبی دارای مقاومت کششی کمتری می‌باشد. ابزار مجهز به تیغه جانبی در سه زاویه حمله مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان دادند با افزایش زاویه حمله، مقاومت کششی ابزار افزایش می‌یابد. همچنین، در هر دو ابزار با افزایش عمق، مقاومت کشش افزایش می‌یابد و ابزار مجهز به تیغه جانبی در عمق بیشتری نفوذ کرده و مقاومت کشش آن نسبت به ابزار بدون تیغه جانبی کمتر بود (Gebregziabher *et al.*, 2016).

جعفری و توکلی‌هشتجین (۲۰۱۶) دو کج ساق، یکی با لبه تیغه موازی با ساق و یکی دیگر با لبه تیغه رو به عقب نسبت به ساق، را در سه زاویه حمله ۷/۵، ۱۵و ۲۲/۵ درجه طراحی کرده و ساختند. نتایج تحقیق نشان داد که کمترین مقاومت کششی مربوط به تیغه کج ساق رو به عقب و در زاویه حمله ۱۵ درجه می‌باشد. بیشترین مقاومت کششی در کج‌ساق با لبه تیغه موازی با ساقه و زاویه حمله ۲۲/۵ به‌دست‌آمد. Dongdong و همکارانش (۲۰۱۵) مدل مکانیکی ریشه کلم با آزمون برش با یک نقطه نگهدارنده را بررسی نمودند. در ادامه این پژوهش در ارتباط با چگونگی طراحی یک برداشت‌کننده کلم شامل بهینه‌سازی ترکیب برش بحث گردید.

در کشور ما، اقدامات چندانی در خصوص برداشت مکانیزه کلم پیچ انجام نشده است که این امر ضرورت مطالعه و تحقیق در این زمینه را نشان می‌دهد. هدف اصلی در این پژوهش ساخت و ارزیابی ماشین برداشت کلم پیچ متناسب با خواص فیزیکی و مکانیکی محصول برای مزارع کوچک می‌باشد. این ماشین بر اساس اصول مکانیکی کار می‌کند و با توجه به مطالعات انجام شده، گزارش‌های چندانی در خصوص طراحی و ساخت چنین دستگاهی تاکنون در ادبیات پیشین ارائه نشده است.

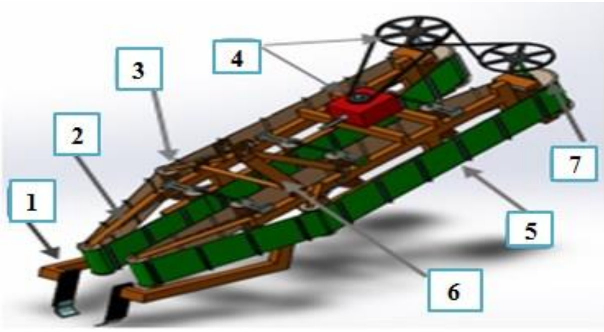
مواد و روش‌ها

وسیله برداشت کلم پیچ که در این پژوهش طراحی و ساخته شد دارای یک واحد برداشت از نوع ماشین‌های بردارنده (بلندکن) می‌باشد. با توجه به اینکه فاصله ردیف‌های کشت کلم حدود ۵۰ تا ۶۰ سانتی‌متر است، این واحد برداشت به‌صورت سوارشونده و آفست طراحی شد. در این فاصله نمی‌توان تراکتور را در بین ردیف‌ها عبور داد به‌همین دلیل باید ماشین به‌صورت کنار سوار باشد تا علاوه بر اینکه چرخ‌های تراکتور به محصول آسیب نرساند، راننده تسلط بیشتر بر عملکرد دستگاه داشته باشد. توان بخش‌های محرک دستگاه از محور توان‌دهی (P.T.O) تأمین می‌شود. با اتصال محور انتقال توان به P.T.O و جعبه دنده، توان لازم برای به حرکت در آوردن نقاله‌ها ایجاد می‌گردد. طرحواره‌ای از وسیله برداشت کلم پیچ مورد نظر در تحقیق حاضر، در شکل ۱ آورده شده است. این دستگاه شامل واحد سست‌کننده و واحد بیرون‌کشنده ریشه محصول از خاک می‌باشد. تیغه‌ها طوری تعبیه شده‌اند که پس از نفوذ به داخل خاک، خاک اطراف ریشه کلم را سست می‌کنند. در ادامه، کلم پیچ به‌وسیله تسمه‌های بیرون‌کشنده (دو تسمه‌نقاله‌ای دندانه‌دار) که به‌صورت مورب قرار گرفته‌اند، بالا کشیده می‌شود. این دو تسمه خلاف جهت سرعت پیشروی، به سمت عقب و بالا در حرکت هستند و محصول را به سمت عقب دستگاه هدایت می‌کنند. در نهایت محصول به داخل مخزن منتقل می‌گردد. توان مورد نیاز برای حرکت تسمه‌ها از محور توان‌دهی تراکتور تأمین می‌شود. سامانه انتقال قدرت استفاده شده در ماشین برداشت کلم پیچ شامل جعبه‌دنده، تسمه و پولی می‌باشد. به دلیل اینکه واحد برداشت‌کننده به‌صورت مستقیم با محصول در تماس می‌باشد، برای ساخت آن باید پارامترهای مکانیکی و فیزیکی کلم پیچ اندازه‌گیری شود. در این پژوهش ابتدا این خصوصیات اندازه‌گیری و سپس انتخاب اجزای مختلف و ساخت دستگاه انجام شد.

خصوصیات فیزیکی و مکانیکی کلم‌پیچ

برای اندازه‌گیری خواص فیزیکی و مکانیکی، تعداد ۵ عدد کلم برای هر آزمایش، به همراه برگ‌های متصل به آن از مزرعه پژوهشی دانشگاه شهید باهنر کرمان تهیه گردید. نیروی لهیدگی کلم پیچ، با استفاده از دستگاه کشش و فشار (اینسترون، stcs 500kg c3) اندازه‌گیری شد.

در مرحله اول بر روی فک‌های فلزی دستگاه اینسترون تسمه‌های لاستیکی شبیه تسمه‌هایی که برای واحد بیرون‌کش در نظر گرفته شده بود، قرار داده شد.



شکل ۱– طرح‌واره ماشین طراحی شده؛ (۱) تیغه‌های سست‌کننده خاک، (۲) دماغه ورودی محصول، (۳) تسمه سفت‌کن، (۴) سیستم انتقال قدرت، (۵) تسمه‌های بیرون‌کشنده، (۶) اتصال سه نقطه، (۷) غلتک محرک

Fig.1. A Schematic view of the designed machine;(1) soil loosing blades,(2) input header,(3) belt tighteners, (4) power transmission system,(5) puller belts,(6) three-point hitch,(7) drive pulley.

فک پایین دستگاه ثابت و به دلیل اینکه در حین آزمایش به فک‌های دستگاه آسیبی وارد نشود و همچنین اولین پارگی‌ها در سطح محصول به‌خوبی دیده شوند سعی بر این شد که از سرعت‌های پایین دستگاه استفاده شود، در نهایت سرعت فک بالا بر روی سرعت ۶ میلی‌متر بر دقیقه تنظیم گردید و نیروی لهیدگی با قرار دادن کلم بین فک‌های دستگاه و اعمال نیرو تا زمان بروز اولین پارگی (اولین جهش در نمودار نیرو–جابه‌جایی) اندازه‌گیری شد. با انجام آزمایش و به‌دست آمدن نیروها، به‌ترتیب به کمک روابط (۱) و (۲)، مقاومت و کرنش لهیدگی کلم پیچ محاسبه گردید.

$$\sigma_c = \frac{F_c}{A_c} \quad (۱)$$

$$\varepsilon_c = \frac{\Delta d}{d} \quad (۲)$$

$$A_c = a * b \quad (۳)$$

که در آن: σ_c، مقاومت لهیدگی (kPa)؛ Fc، نیروی لهیدگی (N)؛ A_c، سطح مقطع کلم در تماس با تسمه لاستیکی (mm^2)؛ d، قطرکلم (mm)؛ ε_c، کرنش (٪)؛ Δd، تغییر اندازه قطرکلم پیچ (mm)؛ a، طول فک دستگاه اینسترون (mm)؛ b، عرض فک دستگاه اینسترون (mm) است.

به‌منظور اندازه‌گیری ضریب اصطکاک بین کلم و تسمه‌های دستگاه، مطابق شرایط واقعی کار، یک گیره دندانه‌دار ساخته شد. کلم در داخل گیره و بین دو قطعه از تسمه و دندانه‌ها قرار گرفته و وزنه‌هایی با جرم متفاوت بر روی فک بالایی قرار داده تا نیروی عمودی به محصول وارد کند. سپس، کلم به کمک نیروسنج دیجیتال با دقت ۰/۲ نیوتن و تسمه باریکی که به دور آن بود از بین گیره بیرون کشیده شد. نیروی قرائت شده از نیروسنج در آستانه حرکت کلم و در حین حرکت ثبت و با استفاده از رابطه (۴) ضریب اصطکاک استاتیکی و از رابطه (۵) ضریب اصطکاک دینامیکی بین کلم و تسمه‌ها محاسبه گردید.

$$\mu_s = \frac{F_{st}}{mg} \quad (۴)$$

$$\mu_d = \frac{F_d}{mg} \quad (۵)$$

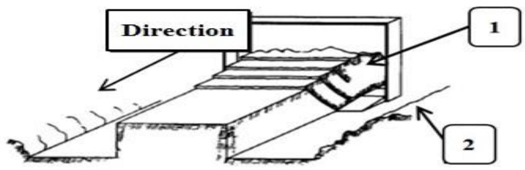
که در آن: μd، ضریب اصطکاک دینامیکی کلم پیچ و تسمه (بدون واحد)؛ μs، ضریب اصطکاک استاتیکی کلم پیچ و تسمه (بدون واحد)؛ Fd، نیروی در حین حرکت (N)؛ F_{st}، نیروی آستانه حرکت (N)؛ g، شتاب گرانش زمین (ms^{-2})؛ m، جرم اعمال شده در راستای عمودی (kg) است.

در طراحی ماشین برداشت کلم پیچ نیروی لازم برای خارج کردن محصول از داخل خاک باید معین باشد. برای این منظور، آزمایشی در مزرعه دانشگاه شهید باهنر کرمان که دارای خاکی با بافت لومی رسی و رطوبتی در حدود ۱۴– ۱۲ درصد، که مناسب برای برداشت کلم پیچ می‌باشد (Hasandokht, 2012)، انجام شد. ابزارهایی که برای انجام این آزمایش استفاده گردید شامل: نیروسنج، فک گیرنده کلم‌پیچ و بیلچه بودند. نیروسنج مورد استفاده در این آزمایش از نوع دیجیتال با دقت ۰/۲± نیوتن بود. آزمایش در دو مرحله، الف) بدون سست کردن خاک اطراف ریشه کلم و ب) همراه با سست کردن خاک اطراف ریشه‌ی کلم انجام گردید. برای انجام آزمایش یک قاب در برگیرنده کلم در نظر گرفته شد که دو فک آن توسط دو پیچ اتصال به یکدیگر متصل شده بودند. محصول در بین فک‌ها قرار داده و پیچ‌های اتصال دو طرف فک تا حدی محکم می‌شدند که کلم از بین فک‌ها حرکت نمی‌کرد. محکم شدن فک، نیروسنج مورد نظر به آن متصل و به سمت بالا کشیده شد. در نهایت، نیروی لازم برای خارج کردن ریشه کلم از داخل زمین، از روی نیروسنج قرائت و ثبت گردید.

اجزای ماشین

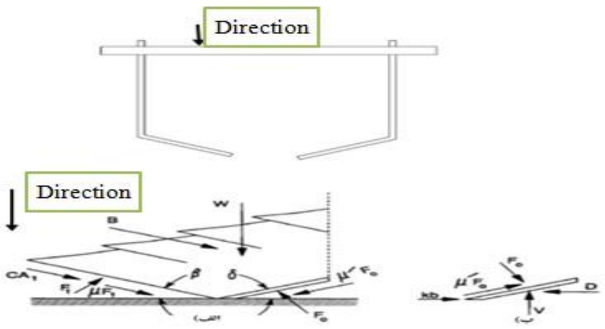
واحد سست‌کننده

به‌منظور سست کردن خاک اطراف ریشه کلم، با توجه به این‌که واحدهای خاک‌ورز با تیغه جانبی سطح خاک را به‌هم نمی‌ریزند، از ابزار خاک‌ورز ساق باریک، مجهز به تیغه جانبی یک‌طرفه به‌عنوان واحد سست‌کننده استفاده گردید. به‌منظور انتخاب تیغه، تعدادی پیش‌آزمون با تیغه‌های دارای دو زاویه جانبی (زاویه تیغه نسبت به صفحه قائم موازی با مسیر حرکت) ۱۰ و ۲۰ درجه و دو زاویه نفوذ (زاویه نوک تیغه نسبت به سطح افقی) ۲۰ و ۲۵ درجه، انجام شد و در نهایت تیغه‌ای با زاویه جانبی ۲۰ درجه و زاویه نفوذ ۲۵ درجه، که دارای بالاترین عمق نفوذ بود، برای ساخت دستگاه پیشنهاد گردید. فاصله بین دو واحد از ابزار بر روی دستگاه با توجه به فاصله ردیف‌های کشت محصول ۴۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است؛ با حرکت رو به جلو ابزار، خاک در بین ساق‌ها و در جهت عمود بر حرکت ابزار گسیخته می‌شود. برای اندازه‌گیری نیروی وارد به تیغه از تئوری زونه استفاده گردید (Shone, 1969). در شکل ۳ دیاگرام نیروی وارد به یک تیغه جانبی نشان داده شده است. در تئوری زونه گسیختگی خاک در راستای حرکت می‌باشد. با توجه به اینکه گسیختگی در این ابزار به سمت جانب می‌باشد، تئوری زونه تعمیم داده شده است (Bahjatabadi, 2016). نیروی وارد شده به تیغه که طبق تئوری زونه به‌دست می‌آید در این ابزار در جهت پیشروی ابزار نیست و این نیرو در خلاف راستای گسیختگی خاک می‌باشد. در واقع نیرو به‌دست آمده از تئوری در جهت عمود به حرکت می‌باشد. برای به‌دست آمدن نیروی وارد به ابزار L شکل، نیروی به‌دست آمده از تئوری زونه مطابق معادله ۱۰ در اصطکاک بین ابزار و خاک ضرب می‌شود.



شکل ۲- چگونگی شکست خاک به‌وسیله ابزار تیغه جانبی. (۱) خاک گسیخته شده و (۲) تیغه جانبی

Fig. 2. How soil losing by one-side blade. (1) Broken soil (2) one-side blade



شکل ۳- الف) دیاگرام عمل و عکس‌العمل خاک و تیغه کج‌ساق ب) نیروهای وارد بر تیغه

Fig. 3. a) Diagram of action, reaction forces between soil and BL blades b) exerted forces on the blade

$$A_1 = d_b * b_b \quad (۶)$$

$$W = \gamma * A * b_b \quad (۷)$$

$$z = \left(\frac{\cos\delta - \mu' \sin\delta}{\sin\delta + \mu' \cos\delta} + \frac{\cos\beta - \mu \sin\beta}{\sin\beta + \mu \cos\beta}\right) \quad (۸)$$

$$D = \frac{W}{z} + \frac{C A_1 + B}{z(\sin\beta + \mu \cos\beta)} \quad (۹)$$

$$D^* = \mu' * D \quad (۱۰)$$

که در آن D، نیروی محاسبه شده از تئوری زونه (N)؛ D^*، نیروی وارد شده بر تیغه (N)؛ F_0، عکس‌العمل عمودی به ابزار (N)؛ F1، عکس‌العمل عمودی خاک (N)؛ W، نیروی وزن خاک (N)؛ d_b، عمق کار (۲۵cm)؛ b_d، پهنای تیغه (۱۰cm)؛ γ: وزن حجمی خاک (۱۳۱۰۰Nm^{-3})؛ β، زاویه شکست خاک (۱۰°)؛ δ، زاویه تمایل

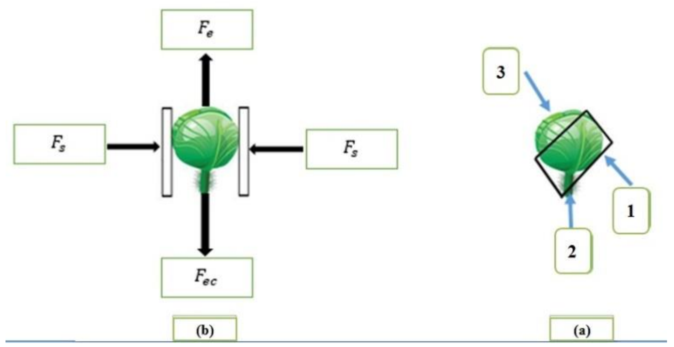
(°۲۰)؛ μ؛ ضریب اصطکاک داخلی خاک (۰/۵۷)؛ ′μ، ضریب اصطکاک خاک ابزار (۰/۴۶)؛ c، چسبندگی خاک (۱۷/۴kPa)؛ A، سطح گسیختگی خاک ($۱۰۵۰cm^2$)؛ B، ضریب مقاومت برش خاک (به‌دلیل تیز بودن لبه تیغه ابزار این ضریب صفر در نظر گرفته شد) می‌باشد (Hemmat *et al*., 2010).

واحد بیرون‌کش

این واحد دارای دو مجموعه تسمه دندانه‌دار و غلتک می‌باشد که روبه‌روی هم نصب می‌شوند و به‌صورتی در داخل دستگاه قرار می‌گیرند که با چرخش آن‌ها محصول به سمت بالا هدایت و با نیروی جانبی که از طرف تسمه‌ها به آن وارد می‌شود، ریشه از داخل زمین بیرون کشیده و محصول برداشت می‌گردد. به‌منظور ورود بهتر کلم‌ها به دستگاه، دماغه ورودی تحت فشار فنر ساخته شد. این دماغه به دستگاه امکان آن را می‌دهد که بتواند کلم‌های با اندازه‌های مختلف را برداشت کند. برای اینکه در طول حرکت در واحد بیرون‌کش ماشین، نیروی جانبی یکنواخت برای گرفتن کلم پیچ در پشت تسمه‌ها وارد شود، از غلتک‌های هرزگرد در فاصله‌های منظم استفاده شد. این غلتک‌ها به کمک یک فنر در بالا و یک فنر در پایین، نیروی جانبی به تسمه‌ها وارد می‌کردند.

انتخاب تسمه

برای انتخاب تسمه واحد بیرون‌کش به دو مولفه نیروی لازم برای بیرون کشیدن ریشه از خاک و مقاومت لهیدگی کلم پیچ نیاز می‌باشد. تسمه باید به نحوی انتخاب شود تا نیروی لازم برای بیرون کشیدن ریشه از خاک را تأمین کند و همچنین تنش وارده به محصول از مقاومت لهیدگی مجاز آن تجاوز نکند. طرح‌واره نیروهای وارد بر کلم پیچ و ریشه آن در شکل ۴ نشان داده شده است. بر اساس این مدل نیروی تولید شده برای بیرون کشیدن ریشه محصول از خاک به‌وسیله دستگاه از رابطه (۱۳) به‌دست می‌آید. برای اینکه ریشه از خاک بیرون کشیده و کلم از سطح زمین برداشت شود، باید رابطه (۱۱) برقرار باشد. حداکثر نیروی جانبی که می‌توان از طرف تسمه به محصول وارد کرد از رابطه (۱۲) محاسبه می‌شود.



شکل ٤– الف) شماتیک قرارگیری کلم پیچ بین تسمه‌های بیرون‌کش ۱) مدل تسمه بیرون‌کش، ۲) مدل ریشه کلم پیچ و ۳) مدل کلم پیچ. ب) شماتیک نیروهای وارد شده به کلم برای بیرون کشیدن ریشه از خاک

Fig. 4. a) Schematic of cabbage between puller belts (1) puller belt model, (2) cabbage root model and (3) cabbage. b) Exerted force on cabbage for pulling the root from soil

$$\mathrm{Fe} \geq \mathrm{Fec} \quad (۱۱)$$

$$\sigma_c = \frac{F_s}{W_c \times W_b} \qquad \mathrm{Fs} = \sigma_c \times W_c \times W_b \quad (۱۲)$$

$$F_e = 2 \times \mu \times F_s \quad (۱۳)$$

که در آن: σ_c، تنش لهیدگی مجاز کلم پیچ (kPa)؛ F_e، نیروی تأمین شده برای بیرون کشیدن ریشه ازخاک به‌وسیله دستگاه (N)؛ μ، ضریب اصطکاک دینامیکی تسمه و محصول؛ F_s، نیروی جانبی فنر (N)؛ W_c، قطر کلم پیچ (15cm)؛ W_b، پهنا تسمه درگیر با محصول (15cm)؛ F_{ec}، نیروی لازم برای بیرون کشیدن ریشه از خاک (N) می‌باشد. برای اطمینان بیشتر در تعیین نیروی لازم برای بالاکشیدن کلم از خاک، مقدارهای بیشینه ضریب اصطکاک که در آزمایش‌ها به‌دست آمد، در رابطه (۱۳) استفاده شد. همچنین، به‌منظور بالا بردن ایمنی برداشت و کاهش احتمال له شدن و پارگی محصول، ضریب تصحیح ۰/۲۵ برای حداکثر تنش لهیدگی در نظر گرفته شد. با محاسبه بیشینه نیروی جانبی مجاز، فنر مناسبی برای ساخت دستگاه انتخاب گردید (Reed, 2011). فاکتور دوم درطراحی تسمه، سرعت خطی تسمه می‌باشد. سرعت خطی تسمه باید به اندازه‌ای باشد که سرعت نسبی بین پیشروی تراکتور و مولفه افقی سرعت خطی تسمه صفر باشد تا محصول به‌صورت عمودی از داخل زمین بیرون کشیده

شود. اگر رابطه (۱۴) برقرار باشد محصول بدون حرکت به سمت جلو یا عقب برداشت می‌شود.

$$Ve \cos\alpha = Vt \quad (۱۴)$$

که در آن v_e، سرعت خطی تسمه (ms^{-1})؛ v_t، سرعت پیشروی تراکتور (ms^{-1})؛ α، زاویه قرارگیری واحد بیرون‌کش نسبت به خط سطح زمین (حدود ۲۵درجه) می‌باشد.

مناسب‌ترین سرعت پیشروی برای دستگاه برداشت کلم پیچ ۲/۱ کیلومتر بر ساعت توصیه شده است (Reed, 2011). لذا، با در نظر گرفتن این سرعت و استفاده از رابطه (۱۴)، سرعت خطی تسمه به‌دست آمد. در ادامه سرعت دورانی پولی‌های تسمه بالاکشنده، با توجه به این‌که، قطر توصیه شده برای آن‌ها ۱۰ سانتی‌متر بود، محاسبه شد. از آنجا که، فرض بر آن بود که قرار است از تراکتوری با دور نامی محور توان‌دهی ۵۴۰ دور بر دقیقه، برای کشیدن دستگاه استفاده شود، ترکیب جعبه‌دنده و پولی‌های مناسب، با توجه به امکانات موجود در بازار و محدودیت‌های دستگاه، برای سامانه انتقال توان، انتخاب شدند. بر این اساس، جعبه‌دنده انتخاب شده دارای نسبت ۳ به ۱ و پولی‌های استفاده شده دارای نسبت ۳/۰۲ به ۱ بودند.

روش انجام آزمایش

برای آزمایش ماشین برداشت کلم پیچ ساخته شده (شکل ۵)، از یک تراکتور یونیورسال U650 موجود در بخش مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه شهید باهنر کرمان استفاده شد. آزمایش‌ها با تغییر عامل‌های موثر در برداشت کلم شامل عامل v: سرعت پیشروی در سه سطح ۲، ۳/۵ و ۵ کیلومتر بر ساعت، عامل A: زاویه استقرار دستگاه نسبت به افق در سه سطح ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه و عامل d: فاصله بین بوته‌ها روی ردیف، در دو سطح ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متر به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشگاه شهید باهنر کرمان انجام و در نهایت نتایج به‌دست آمده مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای تحلیل واریانس داده‌ها، از نرم‌افزار SPSS، برای مقایسه میانگین از روش آزمون چند دامنه دانکن و سپس برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده گردید.



شکل ۵– دستگاه برداشت کلم پیچ

Fig. 5. Cabbage harvesting unit

صفت‌های مورد ارزیابی در تحقیق شامل درصد برداشت سالم و ظرفیت مزرعه‌ای دستگاه بودند. به‌منظور بررسی کیفیت برداشت و به عبارت دیگر، تعیین ضایعات حین برداشت محصول، از صفت درصد برداشت سالم، که بیان‌گر نسبت کلم‌های سالم برداشت شده به تعداد کلم‌های موجود در هر مرحله عبور دستگاه از یک مسافت مشخص است، استفاده شد. در تحقیق حاضر، برای هر تیمار آزمایش، مسافتی شامل تعداد ۱۰ کلم مجاور روی ردیف، برداشت می‌گردید. به‌علاوه، از آنجا که عملکرد دستگاه برداشت کلم علاوه بر زمان، تحت تاثیر کیفیت برداشت نیز می‌باشد، ظرفیت مزرعه‌ای آن به‌صورت تعداد بوته‌های سالم برداشت شده در فاصله زمانی یک ساعت، تعریف گردید (Reed, 2011).

نتایج و بحث

نتایج به‌دست آمده از بررسی خواص مکانیکی کلم، به‌طور خلاصه در جدول ۱ آورده شده است. از نتایج این جدول برای ساخت اجزای مختلف واحد برداشت کلم، در تحقیق استفاده شد.

جدول ۲ نتایج تجزیه واریانس اثر عامل‌های مختلف بر درصد برداشت سالم (ضایعات حین برداشت) را نشان می‌دهد. نتایج گویای آن است که اثر دو عامل سرعت پیشروی تراکتور (V) و زاویه استقرار دستگاه (A) بر مقدار ضایعات برداشت، در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار می‌باشد. اما فاصله بوته‌ها (d)، اثر معنی‌داری بر درصد بوته‌های سالم برداشت شده ندارد. همچنین از جدول ۲ مشخص است که اثر متقابل عامل‌های سرعت پیشروی و زاویه استقرار در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار گردید در حالی‌که اثر متقابل سرعت پیشروی و فاصله بین بوته، زاویه استقرار و فاصله بین بوته و اثر متقابل سه‌گانه عامل‌های آزمایش بر روی شاخص ارزیابی دستگاه معنی‌دار نمی‌باشد.

جدول ۱- خواص مکانیکی کلم و پارامترهای طراحی ماشین برداشت

Table 1- Mechanical properties of cabbage and design parameters of cabbage harvester

پارامتر محاسبه شده **Parameter**	مقدار **Value**	انحراف استاندارد **Standard Deviation**	واحد **Unit**	معادله **Equation Number**
میانگین مقاومت لهیدگی در حالت بدون تسمه (σ_c) Average Bearing Resistance (with belt)	413.57	97.38	kPa	1
میانگین مقاومت لهیدگی در حالت با تسمه (σ_c) Average Bearing Resistance (with belt)	456.14	67.36	kPa	1
کرنش لهیدگی (Δd) Bearing Strain	39	–	٪	2
ضریب اصکاک استاتیکی (µs) Coefficient of Static Friction	1.23	0.16	–	2
ضریب اصطکاک دینامیکی (µd) Coefficient of Dynamic Friction	1.03	0.2	–	5
نیروی وارد بر تیغه (D^*) Force on the Blade	5.47	–	kN	10
نیروی جانبی فنر (Fs) Lateral Force of Spring	2.5	–	kN	12
سرعت خطی تسمه (Ve) Linear Speed of Belt	2.22	–	$km.h^{-1}$	14
سرعت دورانی غلتک محرک (N) Rotational Speed of Drive Roller	59.6	–	rpm	15
نیروی لازم برای خارج کردن محصول از خاک Required Force for Pulling up the Cabbage	42	5	N	–

جدول ۲- نتایج تحلیل واریانس اثر عامل‌های آزمایش بر درصد برداشت سالم

Table 2- Analysis of variance of the effect of the factors on harvest success

منابع تغییر **Source**	درجه آزادی **d.f.**	میانگین مربعات **Mean or Squares**	**F**
سرعت پیشروی Forward Velocity	2	60.667	163.8**
زاویه استقرار Attack Angle	2	50.667	136.8**
فاصله بین بوته Distance between Plants	1	0.0001	0.00027 ns
سرعت پیشروی×زاویه استقرار Attack Angle× Forward Velocity	4	1.333	3.6*
فاصله بین بوته×زاویه استقرار Attack Angle× Distance between Plants	2	0.00003	0.00004 ns
سرعت پیشروی×فاصله بین بوته Distance between Plants× Forward Velocity	2	.0002	0.00054 ns
سرعت پیشروی×زاویه استقرار×فاصله بین بوته Distance between Plants× Attack Angle × Forward Velocity	4	0.00001	0.00002 ns
خطا Error	36	0.370	
کل Total	54		

ns عدم معنی‌داری

ns None significant

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

* and ** Significant at the probability level of 5% and 1%, respectively

مقایسه میانگین اثرات ساده عامل‌های سرعت پیشروی و زاویه استقرار بر درصد برداشت سالم در جدول ۳ مشاهده می‌شود. همچنین شکل ۶ اثر متقابل زاویه استقرار و سرعت پیشروی بر صفت درصد برداشت سالم را نشان می‌دهد. با توجه به شکل، اختلاف چندانی بین سطح‌های سرعت ۲ و ۳/۵ کیلومتر بر ساعت وجود نداشت اما، افزایش سرعت پیشروی به ۵ کیلومتر بر ساعت، در زاویه‌های استقرار مختلف، موجب کاهش معنی‌داری در کیفیت برداشت محصول گردید. دلیل این امر می‌تواند افزایش لرزش و کاهش تعادل دستگاه در سرعت بالا باشد که هدایت دستگاه در امتداد یک ردیف کشت را دشوار می‌کرد. به‌علاوه، افزایش لرزش ناخواسته در ماشین، می‌تواند سبب سایش قسمت‌های متحرک و ترک‌خوردگی اتصالات گردد که افت کیفیت برداشت را در آینده به‌دنبال خواهد داشت (Kazemi *et al.*, 2015). همچنین، با افزایش سرعت دماغه ورودی محصول فرصت کافی برای بلند کردن بوته را ندارد. برخورد سریع دماغه با بوته‌ها، موجب منحرف شدن آن‌ها از مسیر تسمه‌های بیرون‌کشنده می‌گردد، لذا ریشه محصول به خوبی از زمین خارج نمی‌شود و در نتیجه، این امر باعث بالا رفتن ضایعات حین برداشت محصول گردید. از دلایل اختلاف میانگین بوته‌های سالم برداشت‌شده در زاویه‌های مختلف می‌توان به این نکته اشاره کرد که در زاویه استقرار ۲۰ درجه، محصول به‌خوبی از خاک بیرون نمی‌آمد و بین تسمه‌ها و زمین، گیر می‌کرد و برداشت نمی‌شد. از طرفی در زاویه ۳۰ درجه زمان لازم برای بیرون کشیدن محصول زیاد بوده که همین امر باعث کاهش بازده دستگاه گردید. اما در زاویه ۲۵ درجه، دستگاه فرصت کافی برای برداشت محصول را داشت و بوته‌ها را به‌گونه‌ای از سطح زمین برداشت می‌کرد که محصول بین زمین و تسمه‌ها گیر نکند. از این‌رو، مناسب‌ترین کیفیت برداشت محصول در زاویه استقرار ۲۵ درجه مشاهده گردید. در مجموع، بالاترین درصد موفقیت در برداشت حدود ۸۰ درصد بود که در زاویه استقرار ۲۵ درجه با سرعتی کمتر از ۵ کیلومتر بر ساعت مشاهده گردید. نتایج بررسی عملکرد یک ماشین برداشت کلم‌پیچ مناسب برای مزرعه‌های بزرگ نشان داد که دستگاه ۷۰ تا ۸۰ درصد محصول را سالم برداشت می‌کند و از این حیث، عملکرد آن قابل قبول معرفی گردید (Amano *et al.*, 2002).

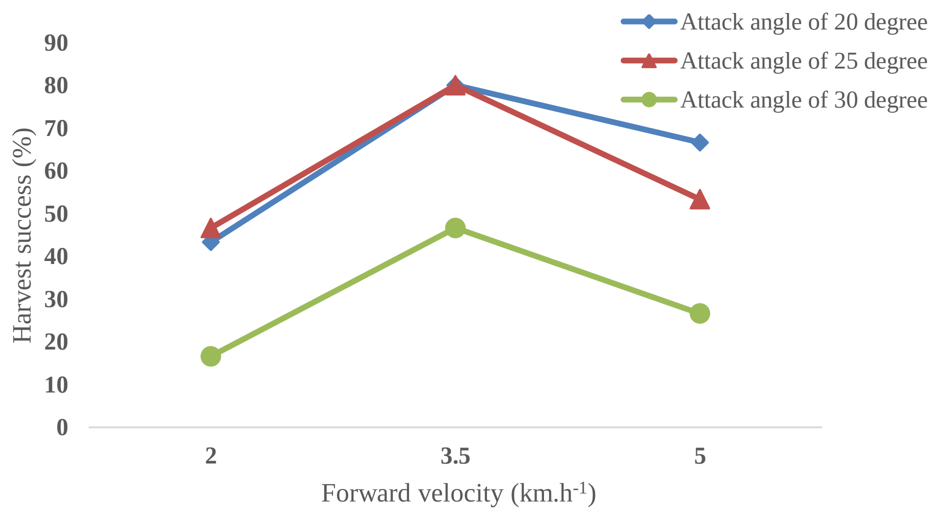
جدول ۳– مقایسه میانگین اثرات ساده عامل‌های آزمایش بر درصد برداشت سالم

Table 3- Mean comparision of the simple effects of the experiment factors on harvest success

عامل **Factors**	سطح‌های عامل **Factor levels**	درصد برداشت سالم **Harvest success (%)**
سرعت پیشروی ($km.h^{-1}$) Forward Velocity ($km.h^{-1}$)	2	6.33[a*]
	3.5	6.00[a]
	5	3.00[b]
زاویه استقرار (درجه) Attack angle (degree)	20	3.56[c]
	25	6.89[a]
	30	4.89[b]

* حروف لاتین متفاوت نشان دهنده‌ی اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد هستند.

*. Different latin letters show the significancy at the probability level of 1%



شکل ۶- اثر متقابل سرعت پیشروی و زاویه استقرار دستگاه بر درصد برداشت سالم

Fig. 6. Interaction between forward velocity and attack angle on harvest success

نتایج تجزیه واریانس اثر عامل‌های آزمایش بر ظرفیت دستگاه در جدول ۴ آورده شده است. تغییر سرعت پیشروی، زاویه استقرار و فاصله بوته‌ها از یکدیگر، بر ظرفیت دستگاه اثر معنی‌داری (در سطح احتمال ۱ درصد) داشتند. به‌علاوه، اثر متقابل سرعت در زاویه استقرار و فاصله بین بوته‌ها در زاویه اسقرار نیز معنی‌دار گردید. بنابراین، مقایسه میانگین اثرهای متقابل دوگانه عامل‌های آزمایش انجام شد.

جدول ٤- نتایج تحلیل واریانس اثر عامل‌های آزمایش بر ظرفیت دستگاه

Table 4- Analysis of variance of the effect of the factors on machine capacity

منابع تغییر **Source**	درجه آزادی **d.f.**	میانگین مربعات **Mean or Squares**	**F**
سرعت پیشروی Forward Velocity	2	14438657.4	72.272**
زاویه استقرار Attack Angle	2	25810185	129.192**
فاصله بین بوته Distance between Plants	1	24671296	123.491**
سرعت پیشروی×زاویه استقرار Attack Angle× Forward Velocity	4	1446759	7.242**
فاصله بین بوته×زاویه استقرار Attack Angle× Distance between Plants	2	1013407	5.168*
سرعت پیشروی×فاصله بین بوته Distance between Plants× Forward Velocity	2	577546.3	2.891ns
سرعت پیشروی×زاویه استقرار×فاصله بین بوته Distance between Plants× Attack angle× Forward Velocity	4	57870.37	0.290ns
خطا Error	36	199781.4	
کل Total	54		

ns عدم معنی‌داری

ns None significant

*و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ ٪ و ۱٪

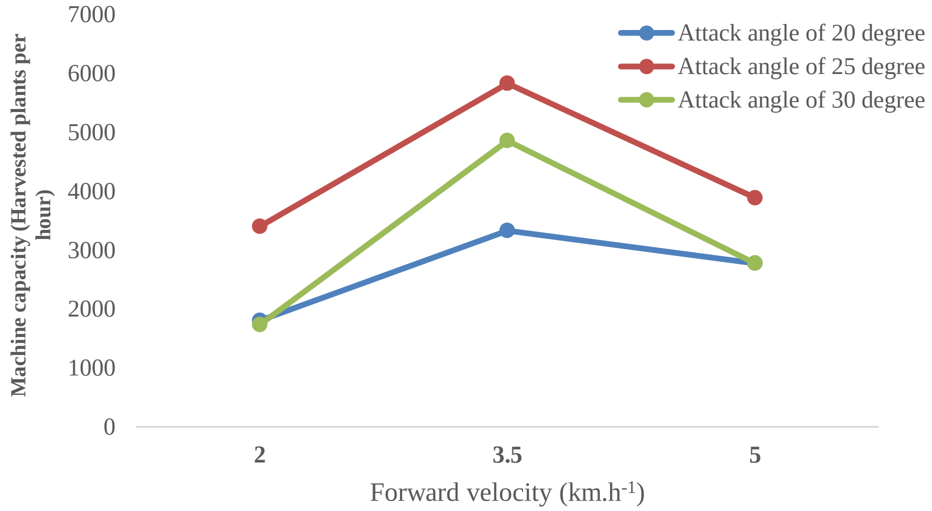
*and ** Significant at the probability level of 5% and 1%, respectively

مقایسه میانگین اثرات ساده عامل‌های آزمایش بر ظرفیت دستگاه در جدول ۵ آورده شده است. همچنین شکل ۷، نحوه تغییر ظرفیت دستگاه را در شرایط مختلف سرعت پیشروی و زاویه استقرار تیغه‌ها نشان می‌دهد. در زاویه ثابت استقرار تیغه‌ها، افزایش سرعت پیشروی از ۲ به ۳/۵ کیلومتر بر ساعت بهبود ظرفیت را به دنبال داشت. ظرفیت برداشت دستگاه تحت تأثیر دو عامل اصلی فاصله زمانی برداشت تعداد مشخصی از بوته‌ها و درصد بوته‌های سالم برداشت شده است. با افزایش سرعت پیشروی، مدت زمانی که دستگاه از یک مسافت ثابت (با تعداد بوته‌های مشخص) عبور می‌کند کاهش می‌یابد. در حالی‌که، با توجه به آن‌چه که در بخش قبل گفته شد، مقدار ضایعات برداشت تغییر چندانی را نشان نمی‌دهد. از طرفی، با افزایش بیشتر سرعت پیشروی به ۵ کیلومتر بر ساعت، به‌دلیل افزایش قابل ملاحظه ضایعات حین برداشت، ظرفیت دستگاه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت.

در سرعت‌های پیشروی ثابت، بالاترین ظرفیت دستگاه با زاویه استقرار ۲۵ درجه حاصل شد که دلیل آن کمترین مقدار ضایعات محصول در این زاویه استقرار می‌باشد. در مجموع می‌توان گفت بهترین ظرفیت برداشت محصول، در فاصله‌های مختلف بوته‌ها از یکدیگر، به‌طور میانگین حدود ۵۸۲۳ بوته بر ساعت بود که با سرعت پیشروی ۳/۵ کیلومتر بر ساعت و زاویه استقرار ۲۵ درجه به‌دست آمد.

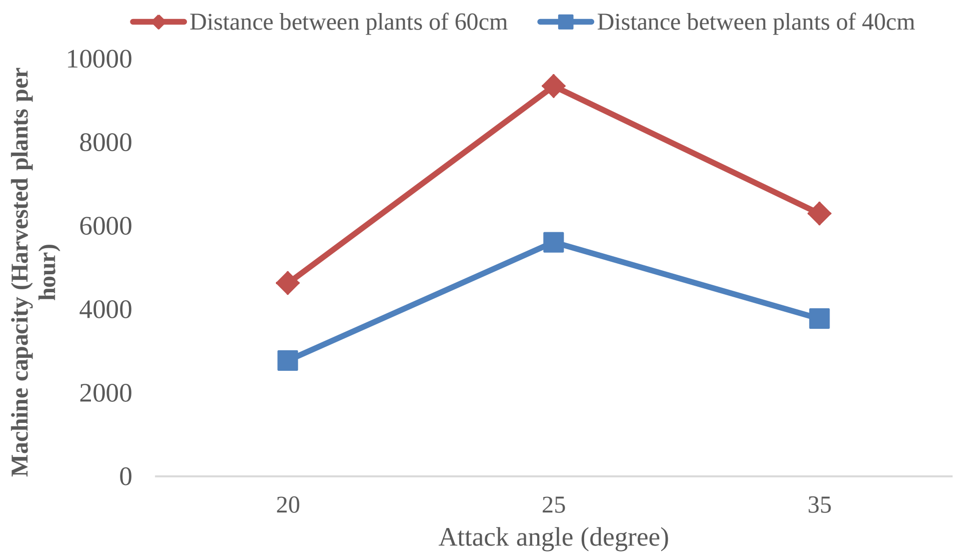
اثر متقابل زاویه اسقرار تیغه و فاصله بوته‌ها بر ظرفیت دستگاه در شکل ۸ آورده شده است. از آن‌جا که افزایش تراکم محصول، اثر معنی‌داری بر درصد بوته‌های سالم برداشت شده نداشت (جدول ۲)، در سرعت پیشروی و زاویه استقرار ثابت، کاهش تراکم بین بوته‌ها به‌طور منطقی باعث بهبود تعداد بوته‌های برداشت‌شده در زمان مشخص گردید. به‌طور میانگین می‌توان گفت با کاهش فاصله بین بوته‌ها از ۶۰ به ۴۰ سانتی‌متر، ظرفیت دستگاه حدود ۵۰ درصد افزایش یافت. در مجموع بالاترین ظرفیت دستگاه در زاویه استقرار

۲۵ درجه با ۴۰ سانتی‌متر فاصله بین بوته‌ها مشاهده گردید.



شکل ۷- بررسی اثر متقابل سرعت پیشروی و زاویه استقرار دستگاه بر ظرفیت دستگاه

Fig. 7. Interaction between forward velocity and attack angle on device capacity



شکل ۸- اثر متقابل زاویه استقرار و فاصله بوته‌ها بر ظرفیت دستگاه

Fig. 8. Interaction between attack angle and distance between plants on device capacity

نتیجه‌گیری

برای برداشت کلم پیچ باید خاک اطراف ریشه محصول قبل از بیرون کشیدن آن به‌خوبی سست شود. برای این امر ابزار سست‌کننده‌ای برای ماشین برداشت کلم پیچ طراحی و ساخته شد. پس از انجام این آزمایشات ماشین برداشت کلم پیچ مجهز به واحد سست‌کننده و بردارنده ساخته و ارزیابی گردید. نتایج نشان داد که با افزایش سرعت پیشروی از ۲ تا ۵ کیلومتر بر ساعت، درصد بوته‌های سالم برداشت شده بین ۲۰ تا ۲۵ درصد کاهش پیدا می‌کند. به‌علاوه، تراکم محصول اثر معنی‌داری بر کیفیت برداشت آن با دستگاه نداشت که این امر می‌تواند یکی از نکات مثبت در عملکرد دستگاه محسوب می‌گردد. از این رو برای رسیدن به ظرفیت کاری مناسب‌تر، می‌توان افزایش تراکم محصول را توصیه کرد. کمترین ضایعات حین برداشت حدود ۲۰ درصد بود که با سرعت پیشروی ۲ و ۳/۵ کیلومتر بر ساعت

و زاویه استقرار ۲۵ درجه مشاهده گردید. همچنین، مناسب‌ترین ظرفیت دستگاه بیش از ۵۳۰۰ بوته بر ساعت بود که در سرعت پیشروی ۳/۵ کیلومتر بر ساعت و با زاویه استقرار ۲۵ درجه به‌دست آمد.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات ساده عامل‌های آزمایش بر ظرفیت دستگاه

Table 5- Mean comparision of the simple effects of the experiment factors on machine capacity

عامل **Factors**	سطح‌های عامل **Factor levels**	ظرفیت دستگاه (گیاه برداشت شده بر ساعت) **Machine capacity (harvested plants per hour)**
سرعت پیشروی ($km.h^{-1}$) Forward Velocity ($km.h^{-1}$)	2	2638.89^{c*}
	3.5	4375.00^{a}
	5	3125.00^{b}
زاویه استقرار (درجه) Attack angle (degree)	20	2314.81^{c}
	25	4675.93^{a}
	30	3148.15^{b}
فاصله بین بوته‌ها (cm) Distance between Plants (cm)	40	4055.56^{a}
	60	2703.70^{b}

*. حروف لاتین متفاوت نشان‌دهنده‌ی اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد هستند.

*. Different latin letters show the significancy at the probability level of 1%

References

1. Amano, T., M. Hachiya, M. Yamagata, and M. Kojima. 2002. Development and utilization of a new mechanized cabbage harvesting system for large fields. Japan Agricultural Research Quarterly 38 (2): 97-103.
2. Bagheri, V., and H. R. Roosta. 2014. Investigating the effect of different concentrations of sodium bicarbonate (alkalinity stress) on some varieties of cool crops in hydroponic system. Environmental Stresses Crop Science 5 (1): 67-80. (In Farsi).
3. Bahjatabadi, M. 2016. Design, Development and Evaluation of Carrot Harvester. Thesis of master degree. Isfahan University of Technology. (In Farsi).
4. Dongdong, W. and Q. Shanshan. August. 2015. Analysis and test of splitting failure in the cutting process of cabbage root. Journal of Agricultural and Biological Engineering. 8 (4): 27-32.
5. FAO. 2014. Food and Agriculture Organization. Available at: http://faostat3.fao.org.
6. Gebregziabher, S., K. D. Swert, W. Saeys, H. Ramon, B. D. Ketelaere, A. M. Mouazen, P. Gebray, K. Gebrehiwot, H. Bauer, J. Deckers, and J. D. Baerdemaeker. 2016. Effect of side-wings on draught: The case of Ethiopian ard plough (maresha). Computers and Electronics in Agriculture 127: 131-140.
7. Hansen, C. 1974. U.S. Patent No. 3,827,503. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
8. Hasandokht, M. 2012.Vegetable production technology. First Edition. Selseleh publication. Tehran. (In Farsi).
9. Hemmat, A., N. Aghilinategh, and M. Sadeghi. 2010. Shear strength of repacked remoulded samples of a calcareous soil as affected by long-term incorporation of three organic manures in central Iran. Iranian Journal of Biosystem Engineering 107: 251-261. (In Farsi).
10. Jafari, R., and T. Tavakoli Hashjian. 2016. Performance evaluation of modified bentleg plow using finite element approach. Iran Agricultural Research 35 (1): 63-72.
11. Kazemi, N., B. Goudarzi, and M. A. Asoodar. 2015. Effect of blade vibration on mulch tillage performance under silt clay loam soil. Journal of Agricultural Machinery 5 (2): 357-367. (In Farsi).
12. Laryushin, N., and A. Laryushin. 2009. Energy-saving onion harvesting technology. Russian Agricultural Sciences 35 (1): 66-67.
13. Mozafari, M., and K. Kazemeinkhah. 2000. Design, development and evaluation of suitable onion harvester for small farms (laboratory scale). Agricultural Engineering Research Institute. (In Farsi).
14. Reed, J. 2011. A technical review of available and emerging technologies for harvesting of brassicas and whole head lettuce. Silsoe Technology Ltd. London.
15. Söhne, W. 1969. Agricultural engineering and terramechanics. Journal of Terramechanics 6 (4): 9-30.
16. Srivastava, A. K., C. E. Goering, R. P. Rohrbach, and D. R. Buckmaster. 1993. Engineering principles

of agricultural machines. American society of agricultural engineers St. Joseph, Mich. Report no.
17. Tabesh, F. 1996. Practical and Theorical Knowledge of Agricultural Machines. Tehran University Press. (In Farsi).

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 9, No. 1, Spring - Summer 2019, p. 1-13

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۹، شماره ۱، نیمسال اول ۱۳۹۸، ص ۱۳-۱

Development and Field Evaluation of a Cabbage Harvester Unit

A. Rezahosseini[1]- K. Jafarinaeimi[2*]- H. Mortezapour[3]

Received: 19-02-2017
Accepted: 18-09-2017

Introduction

Harvesting is one of the most difficult steps in cabbage production that is usually a costly intensive operation. Cabbage harvesting is often done by human labors in Iran. According to customs administration's statistics, more than 54000 tons of cabbages have been exported from Iran in 2015. Development of cabbage harvesting industry is necessary, because of the large cultivation area and the short available harvesting time. So far, a few studies have been done on cabbage mechanized harvesting in Iran. The harvesting machines can reduce harvesting time to one-eighth in comparison with manual harvesting. Design and manufacturing of a harvester unit suitable for small cabbage farms in Iran were conducted in the present study. So the paper was aimed to investigate the performance of the harvester at the different forward velocities, attack angles and distances between the plants.

Materials and Methods

The proposed machine consists of two major units; the soil looser and the unit for pulling out, crops from the soil. In this machine, the blades loose the soil around the cabbage root after penetrating into the soil. Next, cabbage is pulled out from the soil by puller belts. The belts move contrary to forward speed direction and take crop to the backward of the machine. Mechanical and physical properties of the cabbages should be measured, because the harvester is directly in touch with the crop. These properties are firstly measured and then selection of the different components and machine manufacturing are done. Two narrow legs (tillage tools) equipped with one-side blade with attack angles of 20 and 25 degrees are used for losing the soil around the cabbage's root. The force exerted on the blade was 5.47 kN. Finally, the harvesting force is estimated to be 164.8 N by using mechanical and physical properties of the cabbages. Experiments were conducted at the different forward velocity levels (2, 3.5 and 5 km h^{-1}), attack angle of the blades at three levels (20, 25 and 30 degree) and the distance between the crops in two levels (40 and 60 cm) in a completely randomized design with three replications.

Results and Discussion

The analysis of variance of the effect of different parameters on the harvested crop numbers showed, that the effects of forward velocity and attack angle on the number of harvested crops were significant in 5 percent probability. But distance between crops did not have significant effect on the number of harvested crops. Also the effects of interaction between forward velocity and attack angle, forward velocity and distance between crops, attack angle and distance between crops on the number of harvested crops were significant in 5 percent probability. According to the results, the number of harvested crops and machine performance were decreased by increasing forward velocity. Moreover, designed machine had the best performance (80 percent) at an attack angle of 25 degrees and forward velocity of 2 km h^{-1}.

Conclusions

The results showed, with increasing the forward speed from 2 to 5 km h^{-1} the harvest success decreased by 20 to 25 percent. Also, the harvesting quality did not change at the different distances between the plants. The highest machine capacity was more than 5300 plants per hour, which was observed at the forward velocity of 3.5 km h^{-1} and the attack angle of 25 degrees.

Keywords: Cabbage, Forward velocity, Harvesting machine, Narrow leg tools, Puller belts

1- M.Sc. Student, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran
2- Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran
3- Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran
(*- Corresponding Author Email: Jafarinaeimi@uk.ac.ir)